

GÖLGELEME ELEMANLARI VE LEDLİ AYDINLATMA İLE ENERJİ ETKİN AYDINLATMANIN İNCELENMESİ

Göze BAYRAM^{1,2}

gozabayram@gmail.com

Z. Tuğçe KAZANASMAZ²

tugcekazanasmaz@iyte.edu.tr

¹TARKEM, Tarihi Kemeraltı İnşaat Yatırım Ticaret A.Ş. Atatürk Cad. No:40/3, İzmir

²İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Bölümü Gülbahçe Kampusu, Urla, İzmir

ÖZET

Öğrenme ve çalışma performansını artırması ve tüm gün kullanılan mekanlar olması nedeniyle, eğitim yapılarında enerjinin etkin kullanımı açısından doğal aydınlatmanın yapay aydınlatma ile birlikte verimli bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Bu çalışmada, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde yer alan bir eğitim binasındaki güneydoğu yönelimli bir derslik için optimum aydınlatma koşulları ve minimum enerji tüketimine yönelik senaryolar üzerinden tasarım çözümlerine ulaşılması ve öneriler getirilmesi hedeflenmiştir. Aydınlatma performansını etkileyen; pencere yapı bileşenleri, yüzey renkleri, gölgeleme elemanları, aydınlatma elemanlarının yerleşimi ve tipleri gibi ölçütlerin kombinasyonlarının farklı değerleriyle iyileştirme için üretilen çeşitli senaryolar DIALux ile modellenerek analiz edilmiştir. Çalışmada, günışığı ve yapay aydınlatma bütünlük biçimde birlikte düşünülerek analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

1. GİRİŞ

Aydınlatma, enerji tüketim bileşenleri arasında önemli bir yere sahiptir. Enerji etkin bina tasarımında günışığı'nın kullanımını artırmak ve iyileştirmek gereklilik olmaktadır. Ancak, ya-pay aydınlatmanın da kullanımı kaçınılmazdır. Yapay aydınlatmanın doğru kullanılması, enerji tüketiminin makul oranlarda azalmasını sağlar [1,2,3]. Bu bağlamda, eğitim mekânlarının öğrencilerin öğrenme performansı ve dikkatleri üzerine etkileri düşünüldüğünde, bu binaların çoğunlukla gün boyunca kullanıldığı, günışığı performansının verimli bir şekilde sağlanması gerektiği, görsel konforsuzluk koşullarından kaçınılması gerektiği ve enerji etkin aydınlatma stratejilerinin de eş zamanlı olarak uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır [4,5]. Tasarım aşamasında da iyileştirme (retrofit) sırasında da özellikle bu konulara dikkat harcanmalıdır. Gerekli günışığı performansı ölçütlerini sağlamayan ve iyi tasarlanmayan eğitim binaları, yapay aydınlatmanın makul ve kabul edilebilir seviyenin üzerinde kullanılmasına neden olur. Aydınlatma armatürleri ve lambaları enerji etkin olmalı ve doğru sayıda ve düzende yerleştirilmelidir. Ayrıca, iç hacme gereğinden fazla miktarda ulaşan günışığı da kamaşmaya neden olur. Bu durumda da, gölgeleme elemanları aydınlık düzeyi için

düzgünlüğü sağlayan güneş ışığına karşı koruyucu yapı elemanı olarak çalışır.

2. EĞİTİM YAPILARINDA ENERJİ ETKİN AYDINLATMA ARAŞTIRMALARI

Literatürde, eğitim binalarının çevresel koşulları ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Görsel konfor ve enerji konularıyla ilgili olanlarından bazıları şöyledir. Szepessy (2007), günışığı gölgeleme elemanları ve aydınlatma için kullanıcıların kontrol sistemlerini kullanma davranışları üzerine çalışmıştır [6]. Başka bir çalışma, elektrik enerjisi tüketimi, soğutma yükleri ve yapı malzemeleri üzerinedir. [7]. Krüger and Dorigo (2008) eğitim binasının iç çevre koşullarını gölgeleme elemanları ile birlikte düşünerek uygun bina yönlendirme üzerine çalışmıştır. Isıl performans ile görsel performansa odaklanılmıştır [8]. Li, Tsang and Cheung (2006) bina parametreleri ile konut binalarının günışığı performansını incelemiştir [9]. Başka bir çalışmada, enerji etkin cephe tasarımı, yönlendirme, dış çeper, gölgeleme, açıklıkların yeri ve ölçüleri ve cep-hede kullanılan malzemeler açısından ele alınmıştır [10]. Konis (2013), bir ofis binasında elektrik aydınlatması için harcanan enerjinin azaltılması için günışığı performansı ile ilgili çalışmıştır. Kullanıcıların görsel konfor ile ilgili

düşünceleri, cephe açıklıklarının oranı incelenmiştir [11]. Nayyar (2010), bir üniversite kampüsünde bir amfinin aydınlatılması için iyileştirme senaryoları önermiştir. Çalışmada, yapay ışık kaynakları; örn. LED ve çeşitli flüoresan lambalar için önerilen senaryolar ile enerji tüketim değerleri incelenmiştir [12]. Krarti, Erickson and Hillman (2005), doğal aydınlatmaya bağlı olarak yapay aydınlatma kullanımından elde edilecek enerji korunumunu tahmin etmek için bir yöntem önermiştir [13].

3. LED'Lİ AYDINLATMA SİSTEMLERİ

LED'lerin çalışma prensibi, flüoresan lambalarinkinden tamamen farklıdır.

LED aydınlatma teknolojisinde, elektron delikle birleştiğinde açığa çıkan enerji, foton olarak da bilinen ışık enerjisi formunda ortaya çıkar. LED'ler DC (doğru akım) ile çalıştırlırlarından dolayı, sabit akım sağlayabilmek için her bir LED'li aydınlatma armatüründe kompakt bir AC/DC dönüştürücü kullanılmalıdır. LED sürücülerin yapısından ve çalışma mantığından dolayı LED lambalar harmonikler üretmektedir [14].

LED'li aydınlatma sistemleri, enerji etkinlikleri nedeniyle günümüzde aydınlatma endüstrisinde ön sıralarda yer alır. Bu alanda çok sayıda araştırma yapıldığı da görülür. Pandharipande ve Caicedo (2010), ofislerde LED'li sistemler kullanarak enerji etkin aydınlatma kontrol tasarımı üzerine çalışmıştır. Çalışmanın odağında, elektrik tüketimini azaltmak için optimum dimleme seviyelerinin bulunması yer alır. Kullanılan bir çalışma alanında belirli bir aydınlık düzeyine göre sağlanan düzgün dağılım ile kullanılmayan bir çalışma alanındaki minimum aydınlık düzeyi modellenir. Ultrason algılayıcı ile kullanıcıların yeri belirlenir ve bu bilgi girdi verisi olarak aydınlatma kontrol algoritmasına girilir. Böylece istenilen aydınlık düzeyi modeline ulaşmak için

LED'lerin optimum dimleme seviyesi bulunur. Bu çalışma, çalışma alanında, farklı LED ışık kaynakları ile günışığının aydınlatmaya olan katkısını ayırıştırarak tahmin etmek amacıyla bir yöntem önerir [15].

Başka bir çalışmada, LED'li aydınlatma sistemlerinin ısı özellikleri incelenmiş ve bununla ilgili olarak ısıtma/soğutma yüklerinin azaltılması için bir strateji geliştirilmesi amaçlanmıştır [1]. Kore, Daejeon'da, olduğu varsayılan referans bir bina EnergyPlus kullanılarak modellenmiş, enerji tüketimi hesaplanmıştır. Bina, farklı ışık kaynakları için ayrı ayrı tekrar modellenmiş, soğutma yükleri analiz edilmiştir. LED'li aydınlatma kullanıldığında, soğutma sistemi için geliştirilen kontrol stratejisinin daha uygun ve yapılabilir bir sistem olduğu anlaşılmıştır.

LED'li aydınlatma sistemlerinin kullanımı ABD, Japonya, Kore ve AB ülkelerinde geliştirilen ulusal stratejilerle ele alınmaktadır. ABD'de, LED teknolojisindeki gelişmelerin hedefi, lamba etkinlik değerini 200 lm/W seviyelerine getirmektir. Böylece 2020'ye kadar aydınlatmanın enerji tüketimindeki payının %50 azaltılması hedeflenir. Japonya, beyaz LED aydınlatma sistemlerinin kullanımını artırarak ve etkinlik değerlerini 120 lm/W seviyesine getirerek aydınlatma için harcanan enerjiyi %20 azaltmayı hedeflemektedir. Kore'de mevcut kamu binalarının aydınlatma sistemlerini LED'li olacak şekilde değiştirmektedir [1]. Son yıllarda ülkemizde de LED armatürlerin enerji verimlilikleri konusunda çalışmalar artmaktadır. Bunlardan birinde, bir ofis hacmindeki flüoresan lambalı armatürler LED'li armatürlerle değiştirilmiş ve enerji etkinlikleri karşılaştırılmıştır. LED'li sistemin genel olarak yaklaşık %59'luk bir enerji tasarrufu sağladığı görül-müştür. Düzgünlük değerleri de az da olsa iyileşmiştir. Armatürlerin birebir değişimi söz konusu olduğunda aydınlık düzeyinde azalma görülmektedir. Seçilen armatürlerin

ışık akısı değerlerine göre bu durum değişebilmektedir [16].

4. GÖLGELEME ELEMANLARININ AYDINLATMAYA ETKİSİ

Gölgeleme elemanının asıl amacı, binanın saydam kabuğunu güneş ışınlamından korumak ve binaya doğru olan istenmeyen enerji akışını engelleyerek aşırı ısınmayı önlemektir. Gölgeleme elemanları, sistemlerin yıllık enerji gereksinimini azaltır [5]. Gölgeleme ve ışığı yönlendirme elemanları statik ve hareketli olmak üzere iki çeşittir. Işık rafı, saçak veya lazer kesim paneller statik olanlara örnek olabilir. Jaluziler ise, hareketli olanlardır [17,18,19]. Bu çalışmada da, gölgeleme elemanı, günışığı aydınlık düzeyi ve düzgünlüğü etkileyen önemli bir faktördür. Gölgeleme elemanının şeklini (yönünü) ve lamel açılarını değiştirerek, güneş ışığının fazla miktarda iç hacme ulaşmasını engellemek ve böylece yatay çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyi dağılımını dengelemek amacıyla çalışmaktadır. Sonuç olarak, değişkenleri iyileştirme senaryolarına (retrofitlere) dahil edilmiştir.

5. ÖRNEK BİR DERSLİĞİN ENERJİ ETKİN AYDINLATMA AÇISINDAN İYİLEŞTİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında incelenen derslik 9.80 m X 6.40 m X 3.60 m ölçülerinde olup (Şekil 1), taban alanı 61.13 m²'dir ve güneydoğuya yönelmiştir. Pencere alanı 14.80 m² ve pencere alanının duvar alanına oranı 0.62'dir. İç yüzey kaplama malzemelerinin yansıtma çarpanı değerleri, dersliğin mevcut durumda alınan aydınlık düzeyi ve parıltı ölçümleri Lambertian formülüne göre hesaplanmıştır [24]. Sırası ile duvar, taban ve tavan yansıtma çarpanı değerleri %68, %25 ve %87 olarak belirlenmiştir. Pencere camının geçirgenliği, önceki çalışmalarda kullanılan yöntem esas alınarak ölçülmüş [20] ve %36 olarak belirlenmiştir.

Dersliğin mevcut halini değerlendirebilmek için çalışma düzlemi üzerinde belirlenen noktaların aydınlık düzeyleri

CIBSE [21] ve Fontoynt'un [22] önerileri doğrultusunda ölçülmüştür. Bu ölçümler aracılığıyla DIALux modelinin doğruluğu sağlanmış ve mevcut durum senaryosu model-lenmiştir. Ölçüm ve modelleme sonu-cunda elde edilen aydınlık düzeyi ve düzgünlük değerleri aydınlatma standartlarına göre değerlendirilmiştir. Derslikler için 300-500 lx'lük aydınlık düzeyi, 0.5-0.67'lik düzgünlük oranları önerilmektedir [21,22,25].



Şekil 1. Dersliğin dış cephe (a) ve iç mekan görünüşleri (b)

5.1. DIALux Modeli

DIALux yapay ve doğal aydınlatma nedeniyle oluşan aydınlık düzeyini, dış engellerle birlikte hesaplayabilen ve sistemin enerji tüketim değerini de gösteren bir benzetim programıdır [23]. Bu çalışmadaki benzetim model-lerinde değişkenler, gölgeleme eleman-larının değişik biçimleri, yapay ışık kaynakları ve camın geçirgenlikleridir. Alternatif retrofit öneriler, görsel konfor ve enerji etkin aydınlatma ölçütlerine göre önerilmiştir. Senar-yolar sonucunda elde edilen aydınlık düzeyi ve düzgünlük değerleri standartlar

ve tasarım normlarına göre değerlendirilmiştir.

5.2. Gölgeleme elemanları ve LED'li sistemler için senaryolar

Dersliğin, mevcut hali incelendiğinde gün içerisinde doğal aydınlık düzeyinin dengesiz bir şekilde dağıldığı ve belirli zamanlarda doğrudan güneş ışığının içeriye ulaşmasıyla görsel konfor şartlarının olumsuz etkilendiği anlaşılmıştır. Mevcut haliyle güneşten korunmak amacıyla perde kullanılması gerektiği, bunun da hacimdeki tüm elektrik aydınlatma sisteminin çalışmasına neden olduğu görülür. Bu nedenle, yeterli aydınlık düzeyinin mümkün oldukça günışığı ile sağlanması, düzgün dağılımın oluşması, güneş ışığından korunulması ve enerji etkinliğinin sağlanması amacıyla iyileştirme senaryoları geliştirilmiştir. Senaryolar, camın geçirgenliği (%90-%70-%50), ışık rafının eklenmesi, gölgeleme elemanının konumu, yatay veya dikey duruşu, lamel açısı ve mevcut flüoresanlı armatürlerin LED'li armatürlere dönüştürülerek çalıştırma düzeni dikkate alınarak aşağıdaki özelliklerde oluşturulmuştur.

S1: ışık rafı

S2: ışık rafı + yatay dış jalousiler (y dj)

(seyrek sıralanmış ydj: 4 adet ışık rafının üstüne, 2 adet de altına ve lamel açıları 15°'lik aralıklarla 0°'den 90°'ye kadar değişiyor).

S3: yalnızca yatay dış jalousi

(seyrek sıralanmış ydj: S2'de seçilen en uygun parametrelili senaryonun ışık rafı kaldırılarak yerine yatay dış jalousi konularak aynı parametrelerde benzetim analizinin yapılması).

S4: yalnızca yatay dış jalousi

(sık sıralanmış ydj: 6 adet üst, 6 adet alt ve lamel açıları 15°'lik aralıklarla 0°'den 90°'ye kadar değişiyor).

S5: ışık rafı + dikey dış jalousi (ddj)

(seyrek sıralanmış ddj: 7 adet üst, 7 adet alt ve lamel açıları 15°'lik aralıklarla 0°'den 90°'ye kadar değişiyor).

S6: yalnızca dikey dış jalousi

(seyrek sıralanmış ddj: S5'de seçilen en uygun parametrelili senaryonun ışık rafı kaldırılarak yerine dikey dış jalousi konularak aynı parametrelerde benzetim analizinin yapılması).

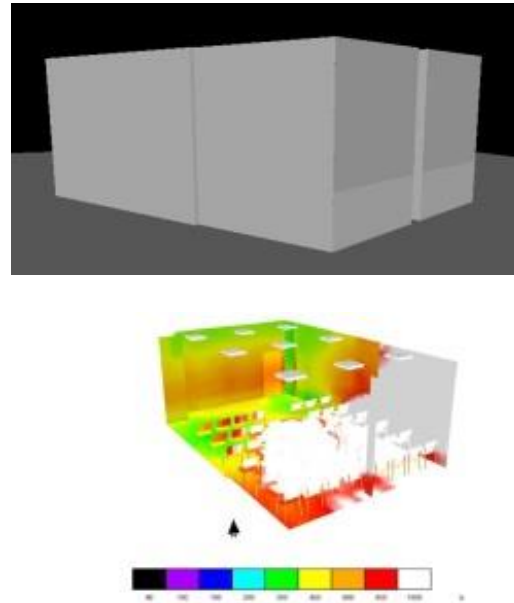
S7: yalnızca dikey dış jalousi

(ddj: 12 adet üst, 12 adet alt ve lamel açıları 15°'lik aralıklarla 0°'den 90°'ye kadar değişiyor).

Yukarıdaki senaryolarda, yeterli aydınlık düzeyi ve düzgünlüğü sağlayan optimum iki önerinin (yatay ve dikey dış jalousili) LED'li sistemlerle beraber kullanılmasıyla iyi yeni senaryo aşağıdaki özelliklerle eklenmiştir.

S8: yatay dış jalousi + LED

S9: dikey dış jalousi + LED



Şekil 2. S0 (mevcut durum) saat 12:00

5.3. Senaryo uygulama adımları

Senaryolar uygulanmadan önce 38°32' kuzey enlemleri ile 26°64' doğu boylamları arasında konumlanan İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Binası'nda yer alan ve güneydoğuya yönelmiş olan dersliğin mevcut durumu modellenerek 21 Aralık, 21 Mart, 21 Haziran ve 21 Eylül tarihleri için açık gökyüzünde sabah 9:00, öğlen 12:00 ve öğleden sonra 15:00 saatleri için benzetim analizleri yapılmıştır.

S1'den S7'ye senaryoların hepsinde tüm belirtilen düzenler için para-metreler

değiştirilerek en uygun aydınlık düzeyi ve düzgünlük oranları benzetim analizi yoluyla elde edilmeye çalışılmıştır.

21 Aralık tarihinde açık gökyüzünde belirtilen saatler için elde edilen veriler değerlendirilerek yatay dış jaluzili ve düşey dış jaluzili senaryolarda en uygun değerler bulunmaya çalışılmıştır. Aydınlık düzeyini ve düzgünlük oranlarını karşılaştırmak amacıyla yatay dış jaluzilerin en uygun değerine sahip olan senaryo; S8'de, düşey dış jaluzilerin en uygun değerine sahip olan senaryo; S9'da, mevcut flüoresan armatürler LED armatürler ile değiştirilerek benzetim analizleri yapılmıştır. Yatay ve düşey jaluzili senaryolardan en uygun olanları 21 Mart, 21 Haziran ve 21 Eylül tarihlerinde belirtilen saatler için 21 Aralık parametreleri sabit tutularak benzetim analizleri tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlardan uygun olmayanları için lamel açıları ve açık/kapalı olan armatür sayıları değiştirilerek uygun değerlere ulaşmak amaçlanmıştır.

Değiştirilen parametrelerle hesaplama noktalarında uygun değerler elde edilemezse, iyileştirme için yatay dış jaluzili senaryoda pencerenin her iki yanına düşey sabit panel, düşey dış jaluzili senaryoda pencerenin her iki yanına düşey ve pencerenin en üst seviyesine ise yatay sabit panel eklenmesi önerilmiştir.

5.4. Enerji tüketim hesapları

Seçilen derslikte aydınlatma düzeni, her bir sırada üçer tane olmak üzere üç sıra halinde toplam 9 armatürden oluşmaktadır. Bu armatürler 4 TL-D 18W flüoresan lamba olup yüksek yansıtıcılıkta optik çift parabolik özelliktedir. Işık akısı 3834 lm, renksel geriverim indeksi 80, renk sıcaklığı 3000-4000 K ve enerji tüketimi 70W'tır.

Öneride kullanılan LED'li armatürün ise, ışık akısı 3400 lm, renksel geriverim indeksi 80'den büyük, renk sıcaklığı 3000-4000 K olup, enerji tüketimi 41W'tır.

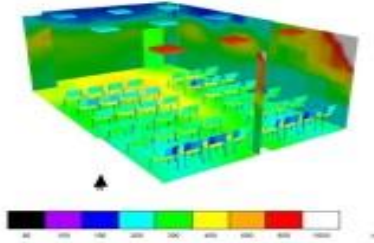
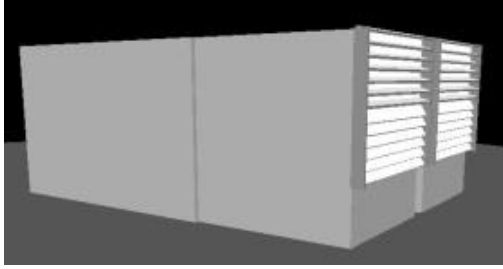
Enerji tüketimlerine yönelik yapılan değerlendirmelerde; 21 Aralık, 21 Mart, 21 Haziran ve 21 Eylül tarihleri için seçilen en uygun senaryolara göre derslikte gün boyu ihtiyaç duyulan yapay aydınlatmanın kullanım yüzdesi (%), gün boyu harcanan toplam enerji (Wh), yıl boyu harcanan toplam enerji (kWh/a) ve LENI değerleri (m^2 'ye düşen harcanan toplam enerji) hesaplanmıştır.

6. SONUÇLAR

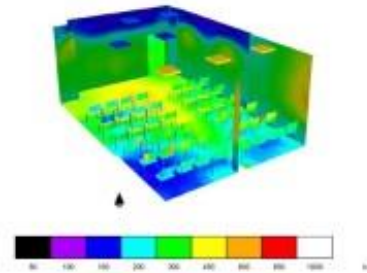
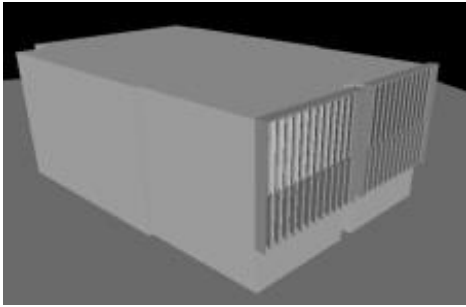
Dersliğin mevcut durumu için S0 (**Tablo 1, Şekil 2**) 21 Aralık tarihinde açık gökyüzü koşullarında 9:00, 12:00 ve 15:00 saatleri için benzetim analizi yapıldığında, ortalama aydınlık düzeyinin 627 ile 3033 lx arasında değiştiği, düzgünlük oranlarının ise 0.25 ve altı değerlerde olduğu görülmüştür. Yani, ideal aydınlık düzeyi ve düzgünlük oranları istenilen düzeyde elde edilememektedir.

Gerekli görsel konfor koşullarını sağlamak amacıyla uygulanan tüm senaryolar incelendiğinde; S1, S2, S3, S5 ve S6 senaryo sonuçlarının uygun değerlere sahip olmadığı, S4 (cam geçirgenliği %90 için) ve S7'de (cam geçirgenliği %50 için) (**Tablo 2, Şekil 3,4.**) uyguna yakın değerlerin elde edilebildiği görülmektedir. Buna göre, gün boyunca düzgünlük değerleri 0,56 ile 0,89 arasında değişmektedir. Yatay dış jaluzinin lamel açıları da Tablo 2'de verildiği gibi gün boyunca farklı değerler alır. Yatay dış jaluzili S4 senaryonun uygun düzgünlük değerlerini elde edebilmek için gün içinde lamel açıları 0 ile 75 derece arasında sürekli değişmektedir. Sabah 9:00'da üst lamel açıları 0, alt lamel açıları 75 derece yapıldığında yapay aydınlatmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Öğlen 12:00'de tüm lameller 75 derece açıyla konumlandırılmış olup, iki sıra armatür çalışır konumdadır. Saat 15:00'te ise, üst lamel açıları 15, alt lamel açıları 60 derece ve iki sıra armatür çalışır konumda iken uygun aydınlık düzeyi ve düzgünlük değerleri elde edilebilmektedir. Düşey dış jaluzili S7 senaryonun uygunluk değerlerini elde

edebilmek için gün içinde lamel açıları 15 ile 75 derece arasında değişmektedir. Sabah 9:00'da üst lameller 45, alt lameller 30 derece açıyla konumlandırılmış olup, iki sıra armatür çalışır konumdadır. Öğlen 12:00'de üst lameller 45, alt lameller 75 derece ve tek sıra armatür çalışır konumdadır. Saat 15:00'te ise, tüm lameller 75 derece açıyla konumlandırılmış olup, iki sıra armatür çalışır konumda iken uygun aydınlık düzeyi ve düzgünlük değerleri elde edilebilmektedir. Düşey dış jaluzinin optimum senaryosunun öğle saatlerinde düzgünlük değerlerinin düştüğü görülmüştür ve tek sıra armatür çalışır konumdadır.



Şekil 3. S4-FT1 saat 15:00



Şekil 4. S7-FT3 saat 09:00

Seçilen en uygun senaryolar için 21 Aralık parametreleriyle; 21 Mart, 21 Haziran ve 21 Eylül tarihleri için de benzetim analizleri tekrarlanmıştır. Bunların arasında uygun olmayan sonuçlar için iyileştirme çalışmalarına devam edilmiştir.

Bu aşamada uygun düzgünlük değerlerini elde edebilmek için yatay dış jaluzili senaryo için pencerenin her iki yanına ve pencere yüksekliğinde sabit paneller eklenmiştir. Düşey dış jaluzili senaryonun tüm mevsimler için iyileştirilmesi amacıyla, pencerenin her iki yanına ve pencere yüksekliğinde sabit paneller ile pencerenin en üst hizasında ve pencere genişliğinde sabit paneller eklenmiştir.

Yıllık enerji değerlenmesine yönelik olarak, flüoresan ve LED'li armatürler için 21 Aralık'a göre seçilen senaryoların enerji tüketim hesabı ile mevsimler bazında (Tablo 3,4) ayrı ayrı enerji tüketim hesapları da yapılmıştır. Yatay dış jaluzili sistemin ve flüoresanlı armatürlerin kullanıldığı S4 senaryosu için tüm yıl tüketilen aydınlatma enerjisine bakıldığında en düşük LENI değerinin 3.1 kWh/am^2 ile 21 Aralık'ta elde edildiği görülmüştür. 21 Mart ve 21 Eylül tarihlerinde yapılan hesaplamalar göz önüne alındığında LENI değerinin 4.6 kWh/am^2 olduğu ve en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

Tablo 1. Mevcut Durum Sonuçları

Mevcut Durum Sonuçları (Değerler DIALux'te elde edilmiştir)												
Derslik - Güneydoğu cephesi (kuzey 26° doğuya yönlenmiştir)												
(Derslik Z55 : h=3.6 m, taban alanı= 61.13 m ²)												
FT: Cam Geçirgenliği												
FC: Çerçeve Rengi = % 80												
SC: Duvar Rengi = % 68												
SD: Dış Jaluzi (uzunluk=25cm); <u>Tip</u> h: yatay v: düşey Açı u: üst l: alt												
LL: Armatür Düzeni; n: Armatür Sıra Sayısı (açık)												
LT: Armatür Tipi; FL: Floresan LED: Işık Yayan Diyot												
Senaryo	FT	Işık Rafı	SD Tip	Açı	LL n	LT	Saat	AYDINLIK DÜZEYİ (Lux)			DÜZGÜNLÜK ORANI	
								E _{avg}	E _{min}	E _{max}	U ₁ E _{min} /E _{avg}	U ₂ E _{min} /E _{max}
Kış Dönümü : 21 Aralık												
S0	FT ₀ 36%	Yok	Yok	Yok	0	FL	09:00	1304	307	2008	0.24	0.15
					0	FL	12:00	3033	408	6937	0.13	0.06
					0	FL	15:00	627	146	2358	0.23	0.06

Buna sebep olarak, 21 Aralık'ta lamellerin yatay konumda açık olması ve yapay aydınlatmaya daha az ihtiyaç duyulması gösterilebilir. 21 Aralık'ta sabah saatlerinde yapay aydınlatma kullanılmamıştır. Düşey dış jaluzili sistemin kullanıldığı S7 senaryosunda ise ekinokslarda, kış ve yaz gündönümlerinde LENI değerinin 5.4 kWh/am² olduğu görülmüştür. LED'li armatürler kullanıldığında ise bu değerler %40 oranında azalmıştır. Buna göre, S4 ve S7 senaryolarından enerji tüketim açısından optimum olanı yatay dış jaluzili sistemin olduğu senaryodur.

7. DEĞERLENDİRME

İncelenen derslik için yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda, görsel konfor

şartları sağlanmaya çalışılmış ve yapay aydınlatmaya bağlı enerji tasarrufu elde edilmiştir.

Güneydoğu cephesine bakan bu derslik için, yatay dış jaluzili senaryonun en uygun olduğu saptanmıştır. Farklı yönlere bakan hacimler için benzer çalışmanın yapılması ve her yön için uygun olacak gölgeleme elemanlarının açılarının bulunması ideal görsel konfor koşullarının sağlanması ve enerji tüketiminin azaltılması açısından önem taşımaktadır. Her iki optimum senaryo (S4 ve S7) için lamel açıları incelendiğinde, 45 ile 75 derecelik konumlar olduğu ve bunun dış ortam ile görsel ilişkiyi azalttığı anlaşılmıştır. Bunun, lamel genişliklerinin azaltılmasıyla çözülebileceği önerilir.

Tablo 2. S4 ve S7 Sonuçları

Yatay ve Düşey Jaluzilerin En Uygun Senaryolarının Aydınlık Düzeyi ve Düzgünlük Oranları Açısından Karşılaştırılması (21 Aralık için Değerler DIALux'te elde edilmiştir)												
Derslik - Güneydoğu Cephesi (kuzey 26° doğuya yönelmiştir) (Derslik Z55 : h=3.6 m, taban alanı= 61.13 m ²)												
FT: Cam Geçirgenliği FC: Çerçeve Rengi= % 90 SC: Duvar Rengi = % 80 SD: Dış Jaluzi (uzunluk=25cm); Tip h: yatay v: düşey Açısı u: üst l: alt LL: Armatür Düzeni; n: Armatür Sıra Sayısı (açık) LT: Armatür Tipi; FL: Floresan LED: Işık Yayan Diyot												
Senaryo	FT	Işık Rafi	SD Tip Açısı		LL n	LT	Saat	AYDINLIK DÜZEYİ (Lux)			DUZGUNLUK ORANI	
								E _{avg}	E _{min}	E _{max}	U ₁ E _{min} /E _{avg}	U ₂ E _{min} /E _{max}
S4	FT ₁ %90	Yok	SD ₄ h	u=0° l=75°	0	FL	9 AM	507	366	656	0.72	0.56
				u=75° l=75°	2	FL	12 PM	480	377	596	0.79	0.63
				u=15° l=60°	2	FL	3 PM	532	471	616	0.89	0.76
S7	FT ₃ %50	Yok	SD ₇ v	u=45° l=30°	2	FL	9 AM	486	340	618	0.70	0.55
				u=45° l=75°	1	FL	12 PM	515	309	753	0.60	0.41
				u=75° l=75°	3	FL	3 PM	504	436	589	0.86	0.74

Tablo 3. S4 ve S8 Enerji Tüketimi

En Uygun Yatay Dış Jaluzi Senaryosu için Aydınlatma Armatürlerinin Enerji Tüketim Karşılaştırması (Değerler DIALux'te elde edilmiştir)										
Derslik - Güneydoğu cephesi (kuzey 26° doğuya yönelmiştir) (derslik Z55 : h=3.6 m, taban alanı= 61.13 m ²)										
SD: Dış Jaluzi; Tip: yatay üst:7 alt:6 LL: Armatür Düzeni; n: Armatür Sıra Sayısı (açık) LT: Armatür Tipi; FL : Floresan; Işık Akısı: 3834 lm; Güç=70 W LED : Işık Yayan Diyot; Işık Akısı: 3400 lm; Güç=41 W LENI: Lighting Energy Numeric Indicator; kWh/(a.m ²)										
Dönence	Saat	ENERJİ TÜKETİMİ								
		LL	Süre h	Taban Alanı %	S4-FT1 (FL)			S8 (LED)		
					Enerji Wh	kWh/a tr: 75 d a: 300 d	LENI	Enerji Wh	kWh/a tr: 75 d a: 300 d	LENI
21 Aralık	9 AM	0	3	0	0	189.0	3.1	0	110.7	1.8
	12 PM	2	3	66.6	1260			738		
	3 PM	2	3	66.6	1260			738		
21 Mart	9 AM	2	3	66.6	1260	283.5	4.6	738	166.1	2.7
	12 PM	2	3	66.6	1260			738		
	3 PM	2	3	66.6	1260			738		
21 Haziran	9 AM	1	3	33.3	630	236.3	3.9	369	138.4	2.3
	12 PM	2	3	66.6	1260			738		
	3 PM	2	3	66.6	1260			738		
21 Eylül	9 AM	2	3	66.6	1260	283.5	4.6	738	166.1	2.7
	12 PM	2	3	66.6	1260			738		
	3 PM	2	3	66.6	1260			738		
Yıllık Enerji Tüketimi					FL	992.3	16.2	LED	581.2	9.5

Tablo 4. S7 ve S9 Enerji Tüketimi

En Uygun Düşey Dış Jaluzi Senaryosu için Aydınlatma Armatürlerinin Enerji Tüketim Karşılaştırması (Değerler DIALux'te elde edilmiştir)										
Derslik - Güneydoğu cephesi (kuzey 26° doğuya yönelmiştir) (Derslik Z55 : h=3.6 m, taban alanı= 61.13 m ²)										
SD: Dış Jaluzi; Tip : düşey üst :12 alt:12 LL: Armatür Düzeni; n: Armatür Sıra Sayısı (açık) LT: Armatür Tipi; FL : Floresan; Işık Akısı: 3834 lm; Güç=70 W LED : Işık Yayan Dişot; Işık Akısı: 3400 lm; Güç=41 W LENI: Lighting Energy Numeric Indicator; kWh/(a.m ²)										
Dönence	Saat	ENERJİ TÜKETİMİ								
		LL	Süre h	Taban Alanı %	S7-FT3 (FL)			S9 (LED)		
					Enerji Wh	kWh/a tr: 75 d a: 300 d	LENI	Enerji Wh	kWh/a tr: 75 d a: 300 d	LENI
21 Aralık	9 AM	2	3	66.6	1260	330.8	5.4	738	193.7	3.2
	12 PM	2	3	66.6	1260			738		
	3 PM	3	3	100	1890			1107		
21 Mart	9 AM	2	3	66.6	1260	330.8	5.4	738	193.7	3.2
	12 PM	2	3	66.6	1260			738		
	3 PM	3	3	100	1890			1107		
21 Haziran	9 AM	2	3	66.6	1260	330.8	5.4	738	193.7	3.2
	12 PM	2	3	66.6	1260			738		
	3 PM	3	3	100	1890			1107		
21 Eylül	9 AM	2	3	66.6	1260	330.8	5.4	738	193.7	3.2
	12 PM	2	3	66.6	1260			738		
	3 PM	3	3	100	1890			1107		
Yıllık Enerji Tüketimi					FL	1323.0	21.6	LED	774.9	12.7

KAYNAKLAR

- [1] Ahn, et al. Effect of LED Lighting on the Cooling and Heating Loads in Office Buildings. *Applied Energy*, Sayı 113, 2013, 1484-1489.
- [2] International Energy Agency (IEA), *Daylight in Buildings, A Source Book in Daylighting Systems and Components*. Berkeley: CA: The Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.
- [3] Stefano, J. D., Energy Efficiency and the Environment: The Potential for energy efficient lighting to save energy and reduce carbon dioxide emissions at Melbourne University, Avustralya. *Energy*, Sayı 25, 2000, 823-839.
- [4] Theodosiou, T. G., Ordoumpozanis, K. T., Energy, Comfort and indoor in air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece. *Energy and Buildings*, Sayı 40, 2008, 2207-2214.
- [5] Bellia, L., Pedace, A., Barbato, G., Lighting in Educational Environments: An Example of complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants. *Building and Environment*, Sayı 68, 2013, 50-65.
- [6] Szepessy, L. L., Doktora Tezi, User Interaction with Environmental Control Systems in an Educational Office Building. Viyana, Avusturya: Vienna University of Technology Faculty of Planning and Architecture, Kasım, 2007.
- [7] Sait, H. H., Auditing and analysis of energy consumption of an educational building in hot and humid area. energy conversion and management, Sayı 66, 2013, 143-152.
- [8] Krüger, E. L., & Dorigo, A. L. Daylighting Analysis in a public school in Curitiba, Brezilya. *Renewable Energy*, Sayı 33, 2008, 1695-1702.
- [9] Li, D. H., Wong, S. L., Tsang, C. L., Cheung, G. H., A Study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. *Energy and Buildings*, Sayı 38, 2006, 1343-1348.
- [10] Maheswaran, U., Zi, A. G., Daylighting and energy performance of post millenium condominiums in Singapore, *International Journal of Architectural Research*, Cilt 1, Sayı 1, Mart 2007, 26-35.
- [12] Nayyar, R. A., Assessing the Potential for Energy and Economic Savings from Lighting Retrofits at Illick Hall. Yüksek Lisans Tezi. New York, United States of America: State of University of New York College of Environmental Science and Forestry, Kasım 2010.
- [13] Krarti, M., Erickson, P. M., Hillman, T. C., A Simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. *Building and Environment*, Sayı 40, 2005, 747-754.
- [14] Uddin, S., Shareef, H., Mohamed, A., Power quality performance of energy-efficient low_wattage led lamps. *Measurement*, Sayı 46, 2013, 3783-3795.
- [15] Pandharipande, A., & Caicedo, D., Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing. *energy and buildings*, Sayı 43, 2010, 944-950.
- [16] Erkin E., Yurtseven M.B., Güler Ö., Onaygil S., LED panel armatürlerin ofis aydınlatmasında retrofit amaçlı kullanımının incelenmesi, 7.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 2013.

[17] Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., Rogers, Z., Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. Leukos: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America, Cilt 1, Sayı 3, 2013, 7-31.

[18] Tzempelikos, A. Athienitis, A. K., The Impact of shading design and control on thermal performance of building by TRNSYS simulation. Renewable Energy, Sayı 23, 2001, 497-507.

[19] Bellia, L., Pedace, A., & Barbato, G., Lighting in Educational Environments: An Example of complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants. Building and Environment, Sayı 68, 2013, 50-65.

[20] Fontoynt, M., Daylight Performance of Buildings. New York, USA: Earthscan, 2013.

[21] CIBSE, Interior Lighting Code. London, UK: CIBSE, 2014.

[22] Licht, U. B., Lighting Design Detail Practice. Basel, İsviçre: Birkhauser, 2006.

[23] DIALux version 4.9. User manual. Software standard for calculating lighting layouts, Lüdenscheid; 2011.

[24] Taylor A.E.F., Illumination Fundamentals, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, 2000.

[25] EMO, En az aydınlık düzeyleri Tablosu EN12464-1, 2011.
www.emo.org.tr/ekler/2cf8d98dca2b9de_ek.xls?tipi=34